www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

$$\frac{1}{k_1}\frac{\partial \phi_1}{\partial s} = \frac{1}{k_2}\frac{\partial \phi_2}{\partial s} \rightarrow \frac{V_{1s}}{k_1} = \frac{V_{2s}}{k_2}$$

* اگر تغیری در سرعت اتفاق افتاده باشد آن تغیر وشی از تغیر سرعت در راستای ی است.

$V_{1n} = V_{2n} \rightarrow$ برای پیوستگی جریان در مرز بین دو لایه

$$\frac{V_{1s}}{V_{1n}}\frac{1}{k_1} = \frac{V_{2s}}{V_{2n}}\frac{1}{k_2} \rightsquigarrow \frac{tg\alpha_1}{k_1} = \frac{tg\alpha_2}{k_2}$$

$$\rightarrow \boxed{\frac{tg\alpha_1}{tg\alpha_2} = \frac{k_1}{k_2}}$$

$$\frac{\Delta\psi}{\Delta n} = \frac{\Delta\phi}{\Delta s} \rightarrow \Delta\psi = \frac{\Delta n}{\Delta s}\Delta\phi \rightarrow \boxed{\Delta q = \frac{\Delta n}{\Delta s} k \Delta h}$$

Δq و Δh برابری فرض به

در 2 لایه

$$\left(\frac{\Delta n}{\Delta s}\right)_1 k_1 = \left(\frac{\Delta n}{\Delta s}\right)_2 k_2 \rightarrow \left(\frac{\Delta n}{\Delta s}\right)_2 = \frac{k_1}{k_2}$$

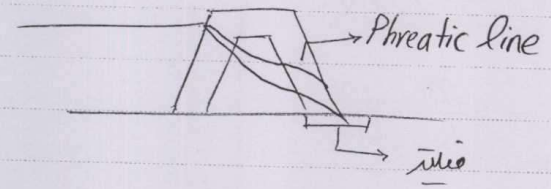
$\frac{k_1}{k_2} < 10$

$\frac{k_1}{k_2} > 10$

سدهای خاکی:

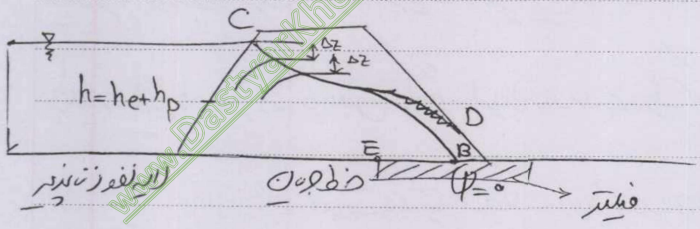
1- همگن ← وقتی مصالح موجود فقط برای یک سد وجود دارد.

2- ناهمگن



لایه نفوذناپذیر

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

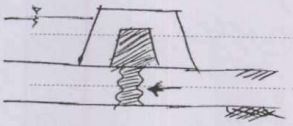


CD: خط جریان : $h_w = 0$ (atm) $\rightarrow \Psi = q$

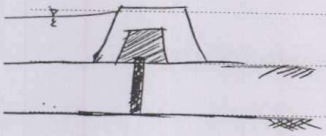
$h = z \rightarrow \phi = -kz$

$EB \rightarrow h = 0 \rightarrow \phi = 0$

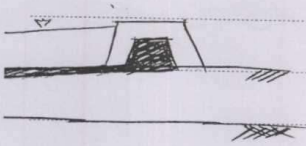
روش‌های آب‌بندی پی‌های خاکی:



• تزریق دوغاب سیمان و ایجاد صفحه آب‌بند

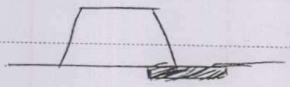


• استفاده از سپر فولادی یا بتنی در زیر سد

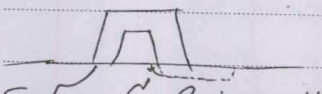


• استفاده از لایه نفوذ ناپذیر در بالادست

فیلتر:



Toe-filter ← سدهای همگن



Chimney filter ← سدهای ناهمگن

وظایف فیلتر: آن قدر ریز باشد که اجازه خروج دانه‌های زمین را از بین خودش بگیرد و آن قدر بزرگ باشد که اجازه جریان آزاد را برای آب داشته باشد.

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

فیلتر: برای کنترل جریان در پایین دست سازه های خاکی مورد استفاده قرار می گیرد.

وظیفه فیلتر: - کاهش تراوش از بدنه سد به عنوان یک سازه خاکی

- وقتی مقدار زیادی از خاک ریزدانه به علت تراوش آب از آن خارج می شود به این پدیده فرسایش داخلی گفته می شود.

سد به دلیل خصوصیت افزایش خاک در اثر تراوش غیر از تراوش

مصالح فیلتر: معمولاً از شن و ماسه استفاده می شود. تعیین مصالح فیلتر به کار رفته در سد انجام می شود.

2 خصوصیت اصلی دانه های فیلتر:

- این دانه ها باید به گونه ای باشند که امکان خروج آزاد برای آب فراهم آورد.
- فضای خالی بین دانه ها آن قدر کوچک باشد که ذرات خاک بدنه سد از آن عبور نکنند.

Terzaghi & Sherard:

- D_{15} ← پارامتری هم در تعیین خصوصیت فیلتر است

دانه ها با دانه بندی یکنواخت به عنوان مصالح فیلتر انتخاب شده

- $\begin{cases} \frac{D_{15,\text{فیلتر}}}{D_{15,\text{soil}}} < 5 \\ D_{15,\text{filter}} \leq 0.5\ \text{mm} \end{cases}$

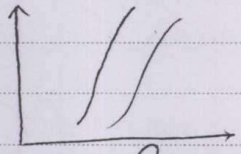
- Terzaghi & Peck (1948) $\begin{cases} \frac{D_{15,f}}{D_{85,s}} < 4 \\ \frac{D_{15,f}}{D_{15,s}} > 4 \end{cases}$

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

دانه بندی فیلتر	R_{15}	R_{50}
خاک با دانه بندی یکنواخت $Cu<4$	شرطی ندارد	5-10
غیر یکنواخت با دانه های گروی	12-40	12-58
غیر یکنواخت با دانه های تیز گوشه	6-18	9-30

$$R_{50}=\frac{D_{50,f}}{D_{50,S}}\leq 25$$

$$R_{15}=\frac{D_{15,f}}{D_{15,S}}$$



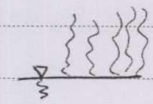
* منظور از دانه بندی فیلتر تضمین عبور آزاد دانه بندی مصالح پایه.

تورم ناشی از یخبندان (frost heave)

- معمولا در خاک های اشباع صورت می گیرد.
- آب در حالت معمولی بدون خاک افزایش حجم دهد 9٪
آب در خاک ← 2.5 تا 5 درصد افزایش حجم در نقطه ثبت مشاهده خواهد شد.

پدیده های مهم در یخبندان:

- شیب تضاد ← هرچه پایین تر باشد ← میزان ضخامت و نوع پایین تر است ← امکان یخ زدگی افزایش می یابد.
- درجه اشباع ← تورم پایین تر
- نوع خاک ← دارای ریزدانه بیشتر ← میزان تورم تا حد زیادی بالاست.



سیلت و ماسه دارای درصد تورم کمتری هستند. ← ضمنا بالا آمدن آب به دلیل خاصیت موئینگی کم است.

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

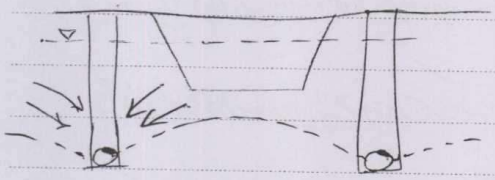
Frost Free Soil : (خاک‌هایی که در چرخ زدگی نمی‌شوند)

درشت دانه { خاک درشت دانه: به دانه‌های دوعیدی از 0.02 mm آن‌ها عبور از 10٪ باشد.
خاک خوب دانه‌بندی شده " " " " " " " 3٪ باشد.

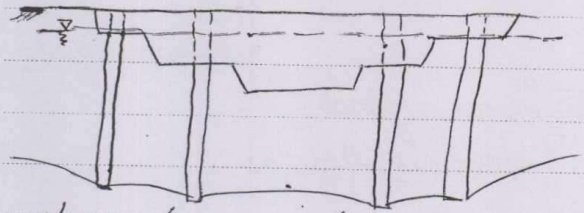
ریزدانه: خاک‌های رسی با PI > 10-12

زهکشی: برای پایین بردن سطح آب در کارهای ساختمانی که سطح آب در آن‌ها بالاست

- از طریق حفر ترانشه ← برای عمق 4 تا 5 متری حوالی پوست ← آب توسط لوله‌های شیب‌داری که در ته ترانشه قرار داده می‌شود تخلیه می‌گردد.



- از طریق چند آب‌چاه‌های عمیق زنی



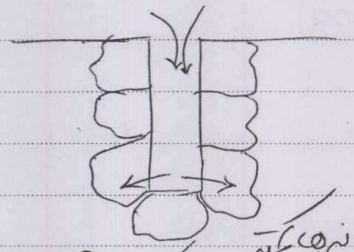
تزریق خاک: به منظور کم شدن نفوذپذیری خاک‌های درشت دانه یا پر کردن درز و شکاف‌ها در سنگ‌ها

- برای تو پر کردن خاک و افزایش مقاومت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

خاک‌های درشت دانه { - نوع آب بیرون { محلول‌های شیمیایی سیلیکات سدیم
همه‌های متراکم‌شونده
- نوع آب بازات‌رس معلق { امولسیون قیر

PqPCO

www.DastyarKhoob.ir



به 2 طریق انجام می‌شود: - تزریق از بالا
- تزریق از پایین

طرح تزریق:

- ضریب نفوذپذیری خاک، هرچه بیشتر فاصله‌گانه‌ها کمتر
- فشار تزریق ← عدم hydraulic fracture آسیب‌های هیدرولیکی می‌شود
- لزجت سیال ← هرچه بیشتر ← محدوده تزریق شده اطراف آن کاهش می‌یابد

تنش موثر: Effective Stress

توده خاک شامل دو فاز است:

- اسکلت ذرات خاک
- حفرات بین ذرات { فرض می‌شود ← حفرات پیوسته باشند. / با آب یا هوا یا هر دو پر می‌شوند.

برای محدوده به ریز که گرفته در هندسی خاک:

- خاک و آب ← تراکم ناپذیر هستند.
- تراکم پذیری تنها برای هوای موجود در حفرات است.

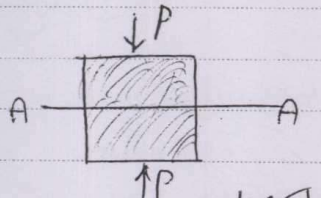
در مورد خاک‌های اشباع:

- هرگونه تغییر حجم ناشی از تغییر در نظم و ساختار دانه‌ها در اثر لغزش و جابجایی خواهد
- صورت بگیرد به آن تراکم اولیه خاک ← سبب خروج آب از بین حفرات

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

مبحث تنش مؤثر: Terzaghi (1923)

میزان عمل بر توسط ذرات های مختلف را تشریح کرد:



- تنش کل Total Stress $\sigma = \frac{P}{A}$

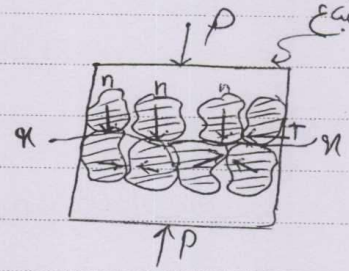
نیرو در واحد سطح این خاک فرض کنید توده خاک میدانی مثلث

بدون هیچگونه خلل و فرج باشد.

- فشار آب حفره ای ← میزان فشار اعمال شده به فاز مایع خاک $u(u_w)$
Pore Water Pressure

- تنش موثر σ' ← بیان کننده میزان بار اعمالی به اسکلت خاک می باشد. $\sigma = \sigma' + u(u_w)$

Total Stress — Effective Stress



سطح تماس ذرات = 1-3٪
Point Contact

1- ذرات ← نیروهای بین ذره ای Inter particle Force در جهت و اندازه های مختلف

2- حفرات پر از آب ← فشار آب $(\frac{P_w}{A})$

$\sigma = \frac{P}{A}$, $\sigma' = \frac{\Sigma N}{A}$, $\frac{P}{A} = \frac{\Sigma N}{A} + \frac{P_w}{A}$ ← نیروی آب حفره ای

سطح مقطع المان در صفحه xx → $\sigma = \sigma' + u$

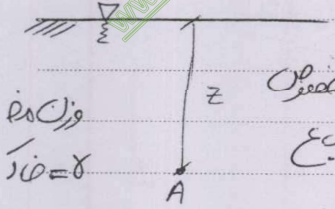
PqPCO

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

* این نیروی برشی عمدتا توسط بتن تحمل می‌شود زیرا آب نیروی برشی تحمل نمی‌کند.

$F_{sh} = \sum T$

- تنش موثر به علت بردار (وزن خاک):

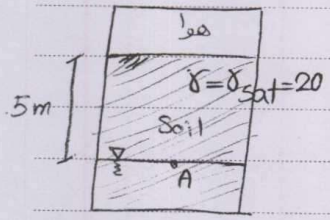


وزن عمود ستون خاک بالای نقطه A: $\sigma = \gamma_{sat} z$

وزن آب منفذی بالای نقطه A: $u = \gamma_w z$

$\sigma' = \sigma - u = (\gamma_{sat} - \gamma_w) z = \gamma' z$

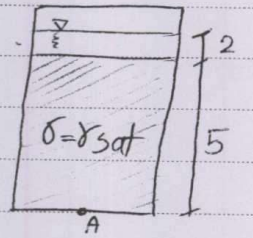
γ' ← وزن مخصوص غوطه‌وری
Bouyant unit weight



a) $\sigma = \gamma_{sat} z = 20 \times 5 = 100$

$u = \gamma_w z = 0$

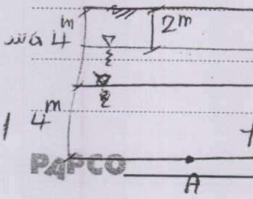
$\sigma' = \sigma - u = 100 - 0 = 100$



b) $\sigma = \gamma_{sat} \times 5 + \gamma_w \times 2 = 5 \times 20 + 2 \times 10 = 120$

$u = 7 \times 10 = 70$

$\sigma' = \sigma - u = 120 - 70 = 50$



$\rho_s = 2.7 \frac{g}{cm^3} = \frac{Mg}{m^3}$

$n = 0.5$

$\rho_{sat} = 2 \frac{Mg}{m^3}$

$V_t = 1 \rightarrow V_v = n$, $V_s = 1 - n$

$M_s = \rho_s (1-n) = 2.7 (1-n) = 1.35 \frac{Mg}{m^3}$

$\rho_d = \frac{M_s}{V_t} = \frac{1.35}{1} = 1.35 \frac{Mg}{m^3}$

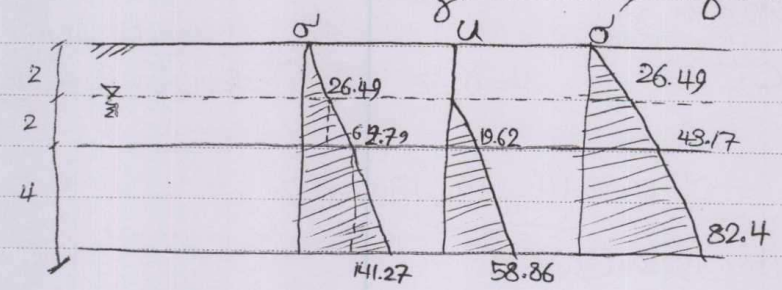
$\rho_{sat} = \frac{M_s + M_w}{V_t} = \frac{1.35 + 1 \times 0.5}{V_t} = 1.85 \frac{Mg}{m^3}$

www.DastyarKhoob.ir

$$\sigma = \rho_d \times 9.81 \times 2 + \rho_{sat,sand} \times 2 \times 9.81 + 4 \times 2 \times 9.81 = 141.27 \text{ kPa}$$

$$u_w = 6 \times 9.81 \times 1 = 58.86 \text{ kPa}, \quad \sigma' = \sigma - u = 141.27 - 60 = 82 \text{ kPa}$$

در واقع $\sigma' = z_1\gamma_d + (\gamma_{sat} - \gamma_w)z_2 + (\gamma_{sat} - \gamma_w)z_3$



انواع هد در خاک:

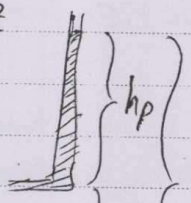
طبق اصل برنولی:

h_v هد سرعت: $\frac{v^2}{2g}$ ← در خاک ≈ ۰

h_p هد فشار: $\frac{p}{\gamma_w}$ ← در آب $= \frac{u}{\gamma_w}$

z هد ارتفاع: ← نسبت به Datum دارد (معمولاً در پی سد است)

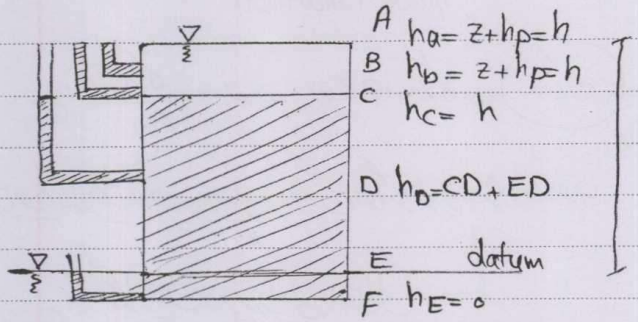
$h = h_p + z$



Datum

PqPCO

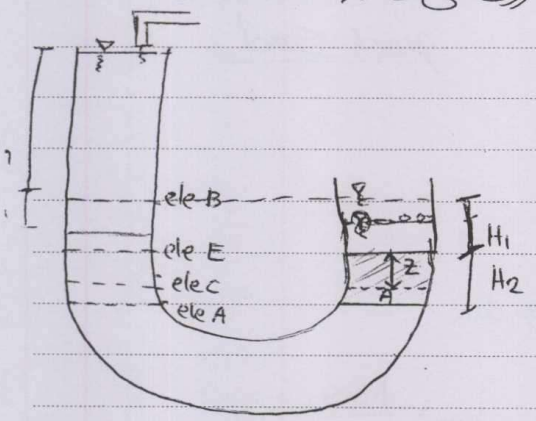
www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob



نیروی جریان - جوشش ماسه روانگرایی:

جریان آب در خاک ← ایجاد نیرو بر ذرات خاک ← نیروی جریان Seepage force

① → $h = 0$ → شرایط استاتیکی است و هیچ گونه جریانی در خاک رخ نمی دهد.



تنش مؤثر در عمق z

$\sigma' = H_1\gamma_w + z\gamma_{sat}$

$u = u_w = (H_1 + z)\gamma_w$

$\sigma' = \sigma - u = z\gamma' = z(\gamma_{sat} - \gamma_w)$

② سطح آب بالادست در موقعیتی بین تراز B (مثل E)

$\sigma' = H_1\gamma_w + z\gamma_{sat}$

$\sigma' = \gamma' z + \frac{z}{H_2}(h\cdot\gamma_w) = \gamma' z + z\gamma_w\left(\frac{h}{H_2}\right)$

$= \gamma' z + i z\gamma_w$

$u_w = (H_1 + z)\gamma_w - i z\gamma_w$

i

③ وقتی که سطح آب بالادست بالاتر از سطح آب پایین دست باشد.

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

quick condition

$\sigma = H\gamma_w + z\gamma_{sat}$

$\sigma' = \gamma z - iz\gamma_w$

$u_w = u = (H_1 + z)\gamma_w + iz\gamma_w$

$\sigma' = 0 \Rightarrow \gamma' z = iz\gamma_w \Rightarrow i = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = i_c$

در این گرادیان هیدرولیکی، تنش موثر برابر صفر خواهد بود.

i_c گرادیان هیدرولیکی بحرانی ←

فشار آب $= iz\gamma_w$

فشار آب / $V = i\gamma_w = j$

نیروی آب $= i\gamma_w V = jV$

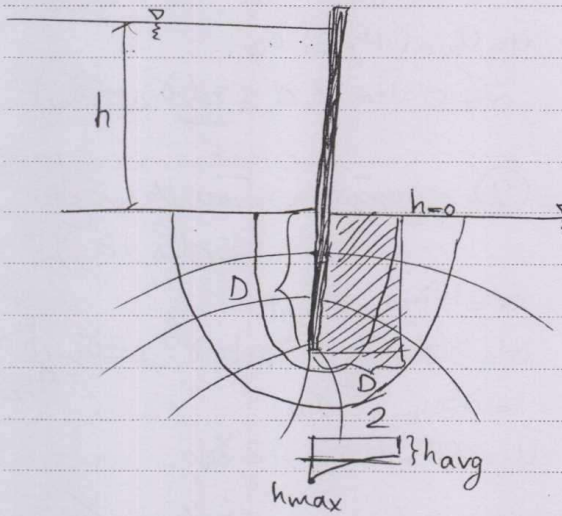
مثال: برای $\gamma_s = 2.68$ و e های

e	D_r	i_c
0.5	Dense	1.12
0.75	Med	0.96
1	loose	0.84

$i_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \rightarrow \boxed{i_c = \frac{1}{1+e}\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)}$

$\gamma' = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1+e}$

quick Sand



$i_{avg} = \frac{h_{avg}}{D}$

$F.S. = \frac{i_c}{i_{avg}} \geq 3$ O.K.

ضریب اطمینان

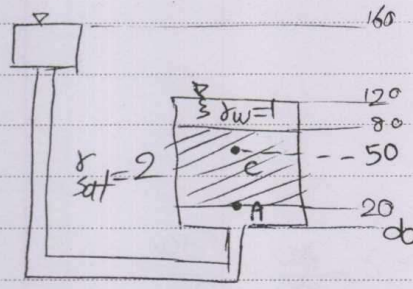
www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

روش سعی و خطا در تعیین هیدرولیکی خروجی قابل اندازه گیری است.

$$i_{exit} = \frac{\Delta h}{\Delta s}$$

$$\hookrightarrow F.S. = \frac{i_c}{i_{exit}}$$

مثال:



سطح بالایی $H = h_e + h_p = 80 + 40 = 120$ (160-20)

سطح پایینی $H = h_e + h_p = 20 + 140 = 160$

$$\rightarrow i = \frac{\Delta H}{\Delta L} = \frac{40}{60} = 0.667$$

$\sigma_A = 60 \times 2 + 40 \times 1 = 160$

$\sigma' = 60 \times 1 - iz\gamma_w = 60 - \underbrace{0.667 \times 60 \times 1}_{40} = 20$ (در نقطه C)

$u_A = 100 + 40 = 140$

$\sigma_j = iz\gamma_w = 0.667 \times 30 \times 1 = 20$ g/cm^2

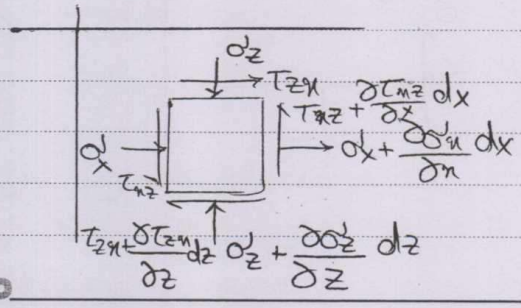
$\sigma' = \gamma_z - iz\gamma_w = 1 \times 30 - 20 = 10$

$u = \gamma_w \times 70 + iz\gamma_w = 70 + 20 = 90$

$\rightarrow \sigma = \sigma' + u = 100$

تنش و تغییر شکل در خاک (فصل 3)

تنش و کرنش:



www.DastyarKhoob.ir

$\Sigma F_x = 0 \rightarrow \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} - X = 0$

$\Sigma F_z = 0 \rightarrow \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} - Z = 0$

$Z \rightarrow \gamma_z$ تنش ثقل

γ'_z نیروی ثقل در واحد حجم ← در معادلات تعادل

در مورد نیروهای اینرسی

$X' = i\gamma_w$

$Z' = \gamma'_z + i z \gamma_w$

نیروی ثقل در واحد حجم

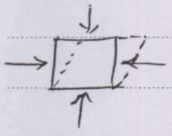
$u \rightarrow x$ تغییر مکان در جهت

$w \rightarrow z$ ″ ″ ″ ″

$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}$

$\varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z}$

$\gamma = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}$



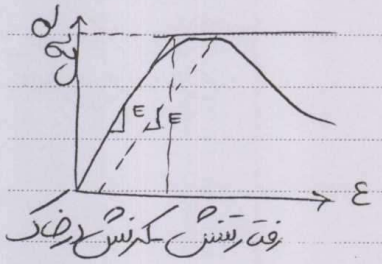
$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} + \frac{\partial \gamma_{xz}}{\partial x \partial z} = 0$$

Compatible Equ.

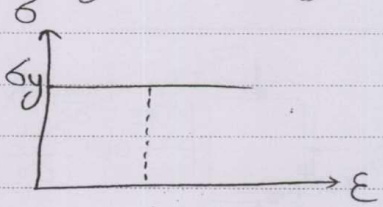
معادلات رفتاری: بیان کننده رابطه تنش و کرنش

$\sigma = E\varepsilon$

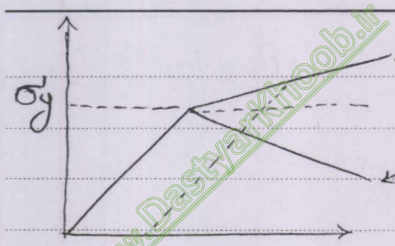
Elastic_Perfectly Plastic_1



Rigid_Perfectly Plastic_2



www.DastyarKhoob.ir

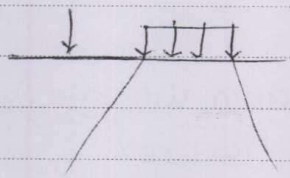


Elastic_strain hardening _3
plastic

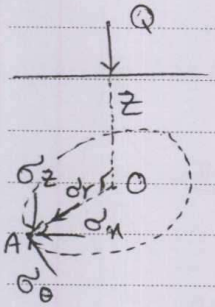
elastic _strain softening _4
plastic

www.DastyarKhoob.ir

تنش براساس تئوری الاستیسیته:



- توده خاک، توده نیمه محدود بسطح افقی
- خاک پیوسته، همگن، رفتار همسان است.
- رفتار خاک الاستیک است.
- کرنش های اعمالی کوچک است.
- وزن خاک در نظر گرفته نمی شود.



به نقطه ای (Point load)

$$\sigma_z = \frac{3Q}{2\pi z^2}\left[\frac{1}{1+(\frac{r}{z})^2}\right]^{\frac{5}{2}} = I_p \frac{Q}{z^2}$$

$$\sigma_r = \frac{Q}{2\pi}\left[\frac{3r^2 z}{(r^2+z^2)^{\frac{5}{2}}} - \frac{1-2\nu}{(r^2+z^2)+z(r^2+z^2)^{\frac{1}{2}}}\right]$$

$$\sigma_\theta = -\frac{Q}{2\pi}(1-2\nu)\left[\frac{z}{(r^2+z^2)^{\frac{3}{2}}} - \frac{1}{r^2+z^2+z(r^2+z^2)^{\frac{1}{2}}}\right]$$

$$\tau_{rz} = \frac{3Q}{2\pi}\left[\frac{rz^2}{(r^2+z^2)^{\frac{5}{2}}}\right]$$

$$I_p = \frac{3}{2\pi}\left[\frac{1}{1+(\frac{r}{z})^2}\right]^{\frac{5}{2}}$$

PAPCO

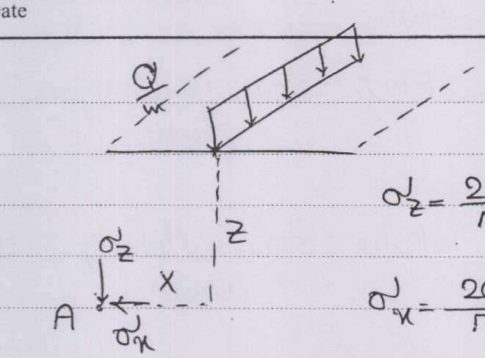
$\nu = 0.5 \rightarrow \sigma_\theta = 0$

σ_r = Simple

No Volume change happens

www.DastyarKhoob.ir

(line load) بار خطی

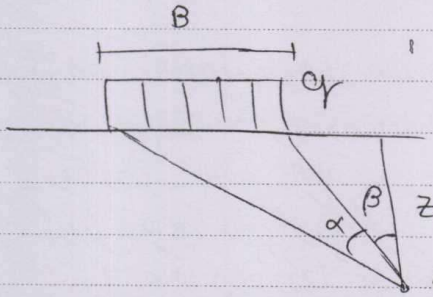


$$\sigma_z = \frac{2Q}{\pi}\frac{z^3}{(x^2+z^2)^2}$$

$$\sigma_x = \frac{2Q}{\pi}\frac{x^2 z}{(x^2+z^2)^2}$$

$$\tau_{xz} = \frac{2Q}{\pi}\frac{xz^2}{(x^2+z^2)^2}$$

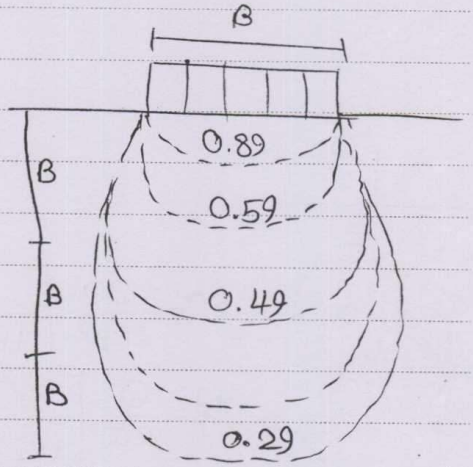
(Strip area with uniform Pressure) مستطیل، مثلث، ذوزنقه

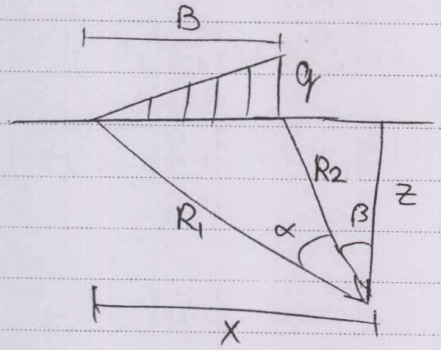


$$\sigma_z = \frac{q}{\pi}\left[\alpha + \sin\alpha\cos(\alpha+2\beta)\right]$$

$$\sigma_x = \frac{q}{\pi}\left[\alpha - \sin\alpha\cos(\alpha+2\beta)\right]$$

$$\tau_{xz} = \frac{q}{\pi}\left[\sin\alpha\sin(\alpha+2\beta)\right]$$





$$\sigma_z = \frac{q}{\pi}\left[\frac{x}{B}\alpha - \frac{1}{2}\sin 2\beta\right]$$

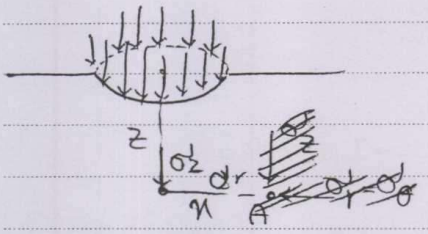
$$\sigma_x = \frac{q}{\pi}\left[\frac{x}{B}\alpha - \frac{z}{B}\ln\frac{R_1^2}{R_2^2} + \frac{1}{2}\sin 2\beta\right]$$

$$\tau_{xz} = \frac{q}{2\pi}\left(1+\cos 2\beta - \frac{2z}{B}x\right)$$

PqPCO

www.DastyarKhoob.ir

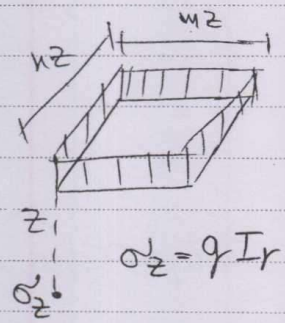
• سطح بار دایره‌ای به روی یک نیم‌فضا



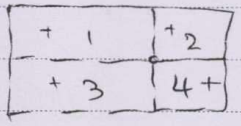
$$\sigma_z = q\left[1 - \left[\frac{1}{1+\left(\frac{R}{z}\right)^2}\right]^{\frac{3}{2}}\right]$$

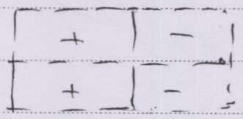
$$\sigma_r = \sigma_\theta = \frac{q}{2}\left[(1+2\nu) - \frac{2(1+\nu)}{\left[1+\left(\frac{R}{z}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}} + \frac{1}{\left(1+\left(\frac{R}{z}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}}\right]$$

• سطح بار یکنواخت مستطیلی:

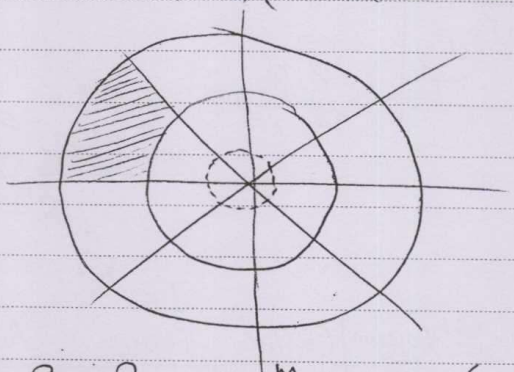


$\sigma_z = q I_r$





نمودار تأثیر: Newmark (1942) (Influence Chart)

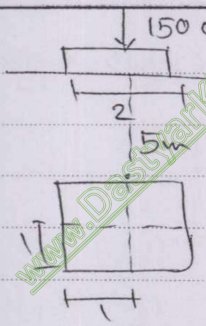


مثال: بار 1500 kN کمربندی به طول 20 m اعمال شده. تنش قائم در دو حالت زیر محاسبه کنید.

- به صورت یکنواخت روی سطح زمین اعمال شود.
- به صورت نقطه‌ای اعمال شود.

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

Subject
Date



$q = \frac{1500}{2\times2} = 375 \frac{kN}{m^2}$

$m = \frac{B}{z} = \frac{1}{5} = 0.2$

$n = \frac{y}{z} = \frac{1}{5} = 0.2 \longrightarrow I_p = 0.018$

$\sigma_z = 4[0.018 \times 375] = 27 \frac{kN}{m^2}$

$\sigma_z = \frac{Q}{z^2} I_p = \frac{1500}{5^2}(0.478) = 29 \frac{kN}{m^2}$

$\frac{r}{z} = 0 \longrightarrow$ از جدول $I = 0.478$

تنش مجاز خاک رسی با استفاده از روش الاستیک:

- نشست کل
- نشست یکنواخت
- نشست نسبی
- نشست تفاضلی - کرنش خطی باشد؟

elastic

$$S_i = \frac{qB}{E}(1-\nu^2) I_s$$

ضریب پواسون

عرض سطح بارگذاری

سطوح بارگذاری

مستطیل

دایره‌ای

مربعی

سطح بارگذاری	Center	Is Corner	Avg.
مربع	1.12	0.56	0.95
مستطیل $\frac{L}{B}=2$	1.52	0.76	1.3
		1.05	1.83
دایره $\frac{L}{B}=5$	2.1	0.64	0.85
	1		

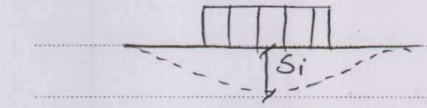
سطح بارگذاری انعطاف‌پذیر باشد

PAPCO

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

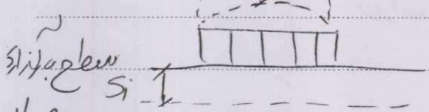
Subject
Date

5/



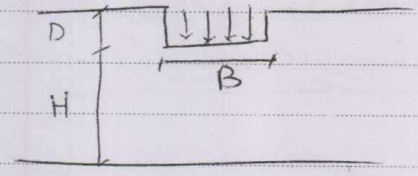
← برای رس و E ثابت در نظر گرفته می‌شود

← E = f(σ') برای ماسه



Clay

Sand



Christian & Carrier

$$S_i = \mu_0 \mu_1 \frac{qB}{E} \qquad \nu = 0.5$$

μ_0 وابسته به D

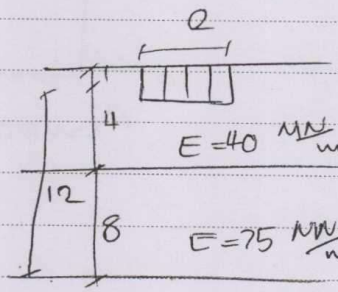
μ_1 وابسته به H

مثال:

$q \rightarrow 4 \times 2$ m

$q = 150 \ \frac{kN}{m^2}$

$D = 1$ m



$\frac{L}{B} = 2$

$\frac{D}{B} = \frac{1}{2} = 0.5 \rightarrow \mu_0 = 0.94$

$\frac{H}{B} = \frac{4}{2} = 2 \rightarrow \mu_1 = 0.6$

$\frac{H}{B} = \frac{12}{2} = 6 \rightarrow \mu_1 = 0.85$

$S_i = 0.94 \times 0.6 \times \frac{150 \times 2}{40} = 4.2$ mm

$S_i = 3.2$ mm

$\frac{H}{B} = \frac{4}{2} = 2 \rightarrow \mu_1 = 0.6$

$S_i = 2.3 \quad E = 75$

$S_{i\,6}' = S_{i(1)} + S_{i(2)} - S_{i(3)} =$

$4.2 + 3.2 - 2.3$

$0.94 \times 0.6 \times \frac{150 \times 2}{40}$ ← 6 ↓ 8 → $0.94 \times 0.6 \times \frac{150 \times 2}{75}$

$0.94 \times 0.6 \times \frac{150 \times 2}{75}$

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

Subject
Date

(فصل 4) خصوصیات تحکیم خاک‌ها

تئوری تحکیم:

$S_{total} = S_i + S_c + S_s$

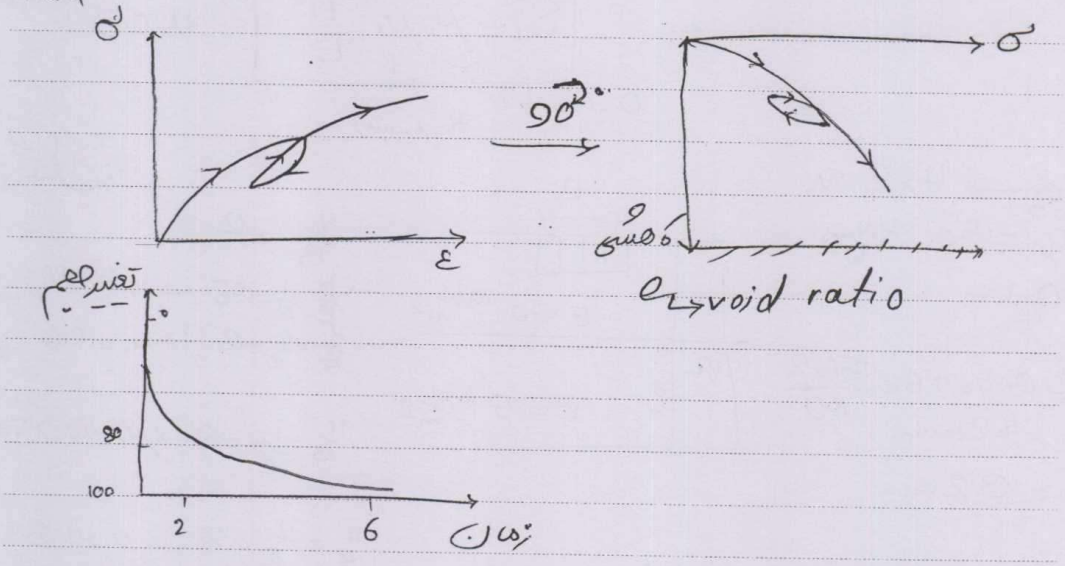
S_i ← نشست آنی (الاستیک)

S_c ← واسته به زمان (consolidation) نشست تحکیم اولیه

S_s ← دارد خزش نشست تحکیم ثانویه (واسته به زمان)

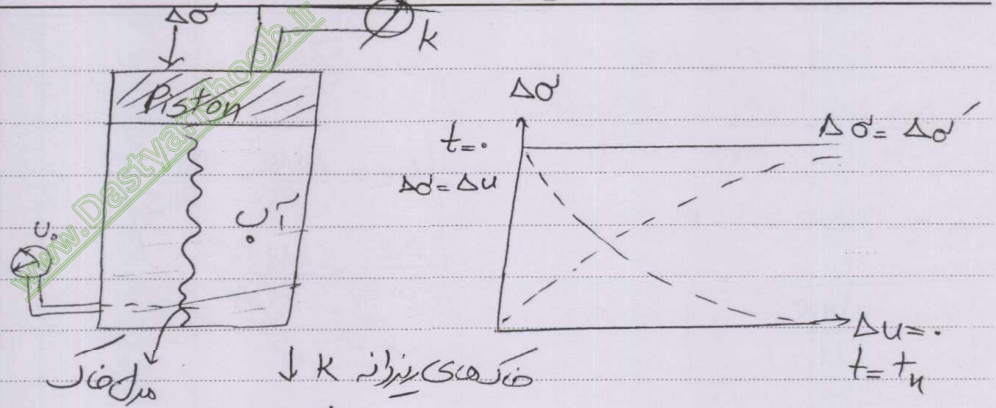
تغییرحجم سطح خاک:

1- تغییرحجم دانه‌ها
2- تغییرحجم سیالات موجود بین حفرات
3- خروج آب یا هوای بین حفرات ← عمده تغییرحجم ناشی از خروج آب



PqPCO

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob



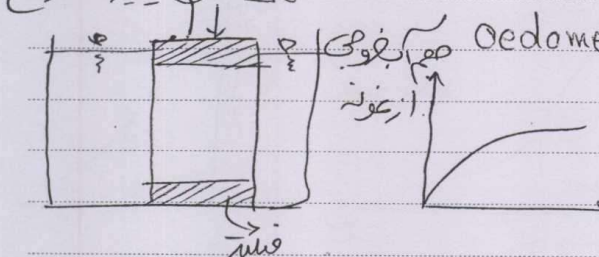
$S_t = S_i + S_c + S_s$ → نشست تحکیم ثانویه

S_i → نشست فوری یا الاستیک → برای فاک های درشت دانه ↑ k

S_c → نشست تحکیم اولیه

S_s → تغییر حجم دانه ها / تغییر حجم هوا و آب موجود در حفرات / خروج آب از بین حفرات → k → Sand → سریع / Clay → بسیار زمان بر

آزمایش تحکیم: Oedometer Test



تعیین حجم:
- اندازه گیری بدست آمده از dial gage و محتوای آب در زمان انتهای تست
- از دانسیته خشک و اندازه گیری بدست آمده از dial gage

w_1 → درصد رطوبت انتهای فاک

e_1 → $e_1 = G_s w_1$

H_0

$S_c = \Delta H$ → از لیچ عقربه ای

PAPCO

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

$e_0 \longrightarrow e_0 = e_1 + \Delta e$

$\frac{\Delta e}{\Delta H} = \frac{1+e_0}{H_0} = \frac{1+e_1+\Delta e}{H_0}$

$\rightarrow (H_0 - 1)\Delta e = 1 + e_1$

$$\boxed{\Delta e = \frac{1+e_1}{H_0 - 1}}$$

$e = \frac{V_v}{V_S}$

$\Delta e = \frac{\Delta V_v}{V_S} = \frac{\Delta H}{H_S}$

$\frac{\Delta e}{1+e_0} = \frac{\Delta H A}{H_0 A}$

$\frac{\Delta e}{1+e_0} = \frac{\Delta V}{V_0}$

از طریق
dry density

2- From dry density and gauge reading

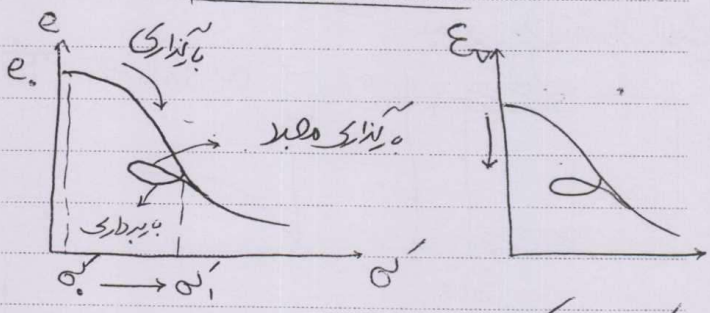
- وزن خشک خاک را در انتهای تست اندازه‌گیری می‌کنیم $\rightarrow M_S$
- H
- A

ارتفاع خشک نمونه

$-e_1 = \frac{H_1 - H_S}{H_S} = \frac{H_1}{H_S} - 1$

$G_S = \frac{\rho_S}{\rho_w} \rightarrow \frac{\frac{M_S}{V_S}}{\rho_w} = \frac{\frac{M_S}{H_S A}}{\rho_w} \rightarrow \boxed{H_S = \frac{M_S}{A G_S \rho_w}}$

$\begin{cases} e, \varepsilon_v \\ d' \rightarrow \Delta\delta + \delta'_0 \end{cases}$



$d\varepsilon_v = \frac{\Delta e}{1+e_0}$

$\varepsilon_v = \frac{e_0}{1+e_0}$

شکل منحنی تحکیم:

- به ازای هر تنش خاک $\rightarrow$ میزان تنش تجربه شده توسط خاک در گذشته

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

OCR=1 ← خاکهای عادی تحکیم یافته

$\sigma'_0 < \sigma'_1$

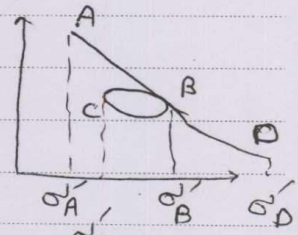
← تنش حداکثر (بیشترین مقداری که تا حال تحمل شده توسط خاک)

خاکهای پیش تحکیم یافته ← $\sigma'_1 < \sigma'_0$

OCR>1

$OCR = \frac{\sigma'_{max}}{\sigma'_1} \rightarrow \sigma'_p$

نرخ پیش تحکیمی ← تنش پیش تحکیمی



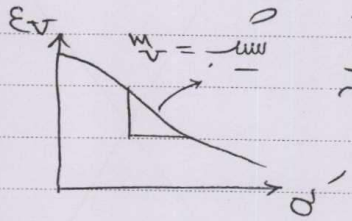
پیش تحکیم یافته ← CBD

عادی تحکیم یافته ← ABD

ضریب تغییر حجم ویژه

m_v

$m_v = \frac{d\varepsilon_v}{d\sigma'}$



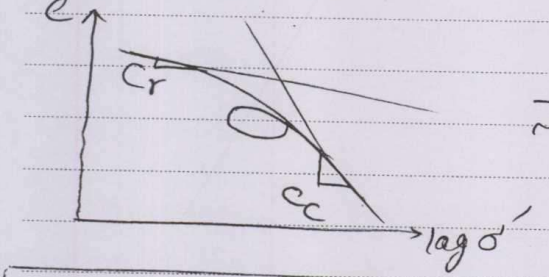
$\sigma'_0 \rightarrow \sigma'_1$

$\varepsilon_{v0} \rightarrow \varepsilon_{v1} \rightarrow m_v = \frac{\varepsilon_{v0} - \varepsilon_{v1}}{\sigma'_1 - \sigma'_0} = \frac{\frac{e_0}{1+e_0} - \frac{e_1}{1+e_0}}{\sigma'_1 - \sigma'_0} = \boxed{\frac{1}{1+e_0}\left(\frac{\Delta e}{\Delta \sigma'}\right)_{av}}$

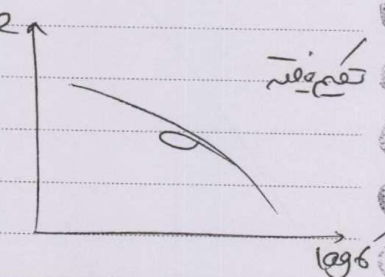
m_v → ضریب تراکم پذیری حجمی

ضریب تراکم پذیری

$\rightarrow m_v = \frac{1}{1+e_0}(a_v)$



پیش تحکیم یافته



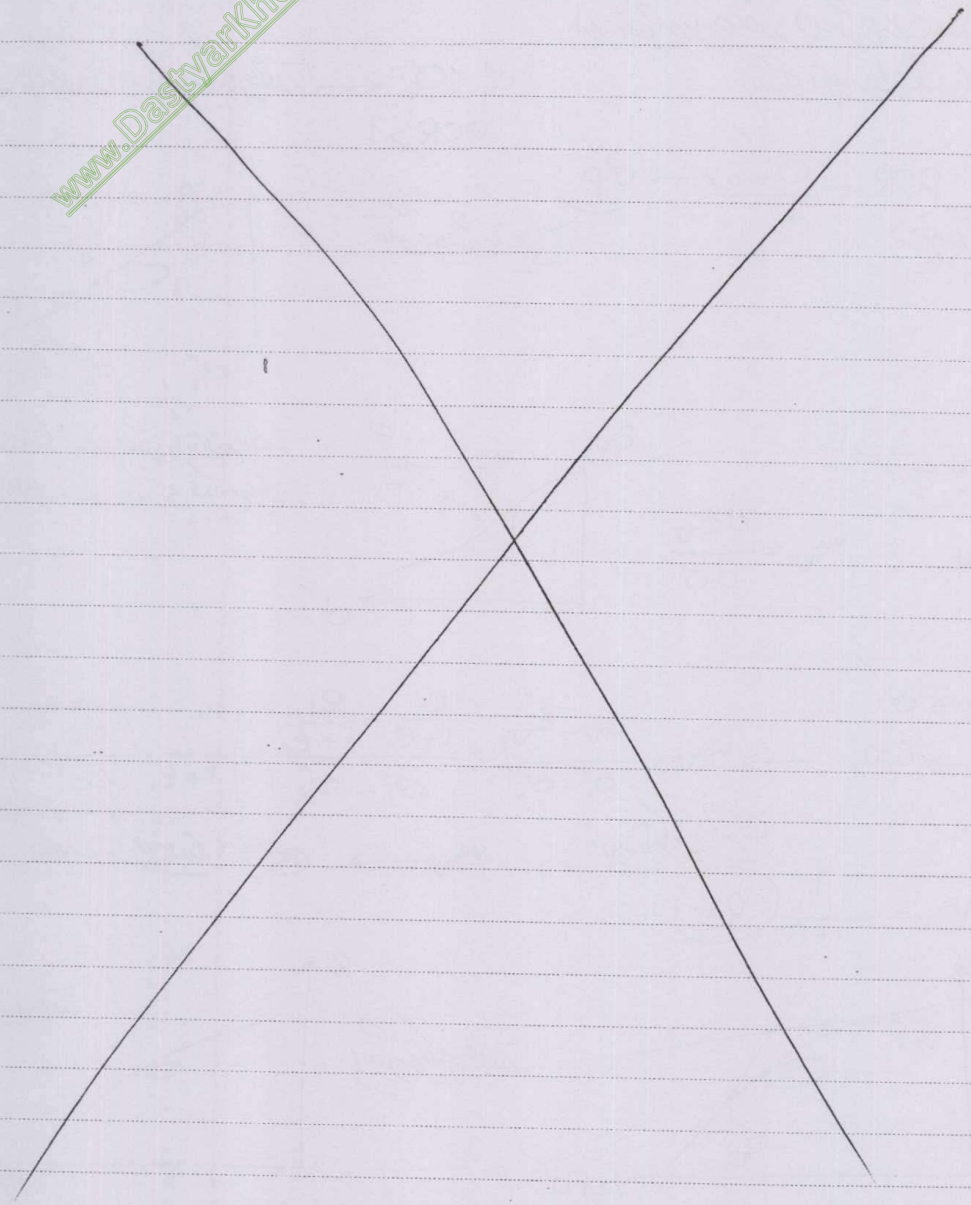
$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma'} = \frac{\Delta e}{\log \sigma'_1 - \log \sigma'_0} = \frac{\Delta e}{\log\left(\frac{\sigma'_1}{\sigma'_0}\right)}$ ⇒ $C_r = \frac{\Delta e}{\log \sigma'_2 - \log \sigma'_0}$

P4PCO

www.DastyarKhoob.ir

Subject

Date



www.DastyarKhoob.ir

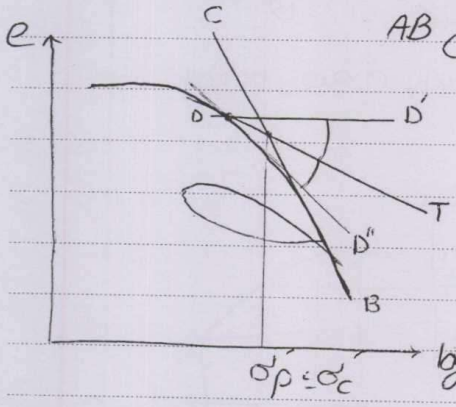
R4PCO

www.DastyarKhoob.ir

Subject
Date

σ'_p Grassagrande : گاسگرانده

۱- تعیین نقطه D بیشترین انحنا روی منحنی AB

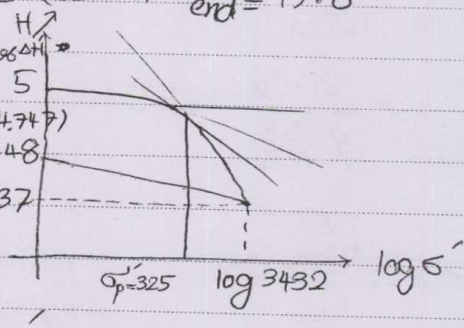


مثال:

$H_s = 19\,mm$

$w_{end} = 19.8$

Pressure	Dial guage(mm)	e (5-4.747)
0	5	e_0 0.891
54	4.747	$e_1 = 0.891 - 0.0996\Delta H$
107	4.443	$e_2 = e_1 - 0.0996$ (5-4.747)
214	4.108	1.48
428	3.449	0.737
856	2.608	
1716	1.676	
3432	0.737	
0	1.48	



unknown { σ', M_v → [100-200], [1000-1500]

C_c → [1000-1500]

$G_s = 2.73$

$S_r = 1$ $\quad S_r e = wG_s \Rightarrow e_1 = \frac{0.198 \times 2.73}{1} = 0.541$

↳ G_s

www.DastyarKhoob.ir

$e_0 = e_1 + \Delta e$

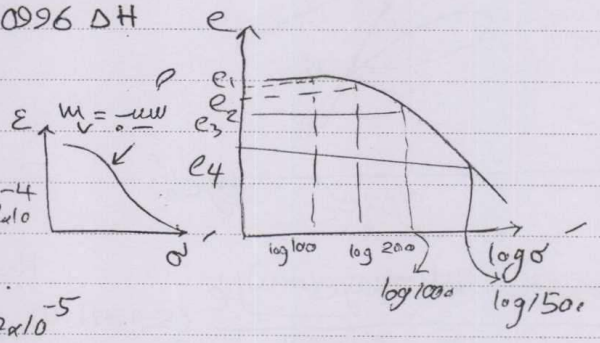
$\frac{\Delta e}{\Delta H} = \frac{1+e_0}{H_0} \rightarrow \frac{\Delta e}{\Delta H} = \frac{1+e_1+\Delta e}{H_0} \Rightarrow \frac{\Delta e}{5-1.48} = \frac{1+0.541+\Delta e}{19}$

$\Rightarrow \Delta e = 0.35 \Rightarrow e_0 = e_1 + \Delta e = 0.541 + 0.35 = 0.891$

$\frac{\Delta e}{\Delta H} = \frac{1.891}{19} \rightarrow \Delta e = 0.0096\,\Delta H$

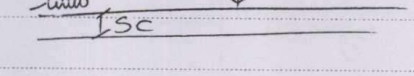
$m_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma'} \frac{1}{1+e_0}$ $\quad (e_0 - e_1)$

$= \frac{e_1 - e_2}{200-100} \propto \frac{1}{1+0.891} = 2\times10^{-4}$



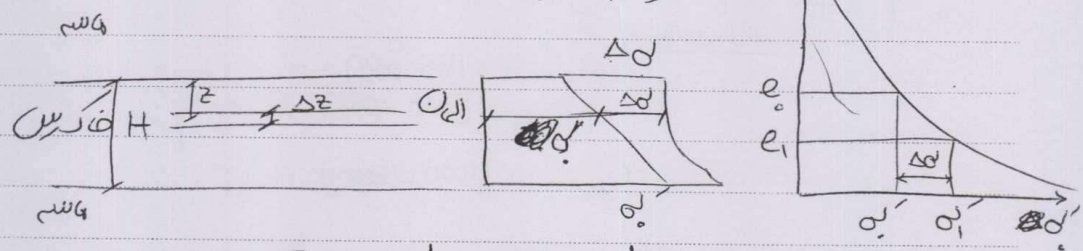
$m_v = \frac{e_3 - e_4}{1500-1000} \propto \frac{1}{1+0.89} = 7\times10^{-5}$

$C_c = \frac{\Delta e}{\log\left(\frac{\sigma_1'}{\sigma_0'}\right)} = \frac{e_1 - e_2}{\log\frac{1500}{1000}} = 0.31$



1-Dimension

یک بعدی فرض می‌شود



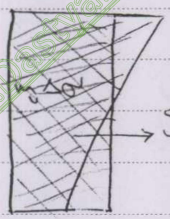
$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta e}{1+e_0} = \frac{S_c}{H} \qquad \frac{dv}{v_z} = \frac{\Delta e}{1+e_0} = \frac{dS_c}{dz}$

$\frac{dS_c}{dz} = \frac{de}{1+e_0} = \frac{de}{d\sigma'} \frac{\sigma_1' - \sigma_0'}{1+e_0} = d(\sigma_1' - \sigma_0')\, m_v = \Delta\sigma'\, m_v$

PaPCO

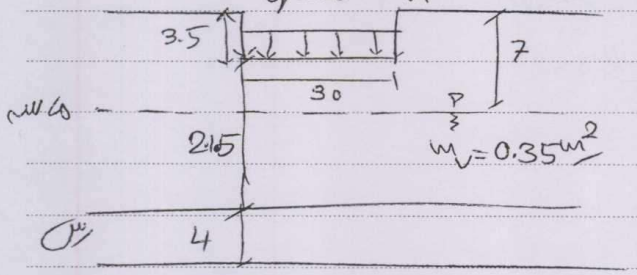
www.DastyarKhoob.ir

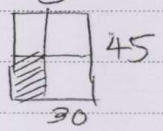
$$dS_c = \Delta\sigma' m_v dz \rightarrow S_c = \int_0^H m_v \Delta\sigma' dz$$



$$\Rightarrow S_c = m_v \Delta\sigma \int_0^H dz = m_v \Delta\sigma' H$$

$q = 125 \frac{kN}{m^2}$ سربار گسترده



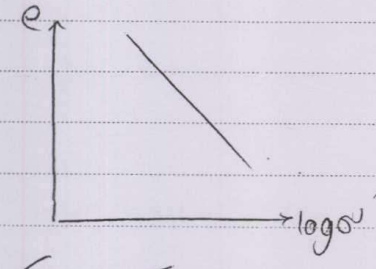


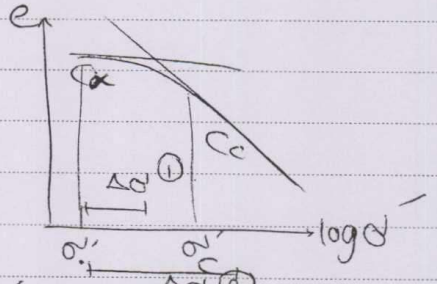
: ذوزنقه

$$\sigma'_z = I_z \Delta\sigma$$

$$m = \frac{L}{z} = \frac{22.5}{23.5} = 0.96$$
$$n = \frac{B}{z} = \frac{15}{23.5} = 0.64$$
$$\rightarrow I = 0.14 \rightarrow \sigma_z = 0.14 \times 125 \times 4 = 70 \frac{kN}{m^2} kPa$$

$$S_c = m_v \Delta\sigma' H = 0.35 \times 10^{-3} \times 70 \times 4 = 0.098 m$$





برای خاک‌های تحکیم یافته $\leftarrow S_c = m_v \Delta\sigma' H = \frac{e_0 - e_1}{1+e_0} H$

$$C_c = \frac{e_1 - e_0}{\log \frac{\sigma'_1}{\sigma'_0}} \rightarrow e_1 - e_0 = C_c \log \frac{\sigma'_1}{\sigma'_0}$$

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

برای رس تحکیم یافته: $\sigma_1' = \sigma_0' + \Delta\sigma < \sigma_c'$

$$e_1 - e_0 = \frac{C_\alpha H}{1+e_0} \log \frac{\sigma_1'}{\sigma_0'}$$

$$\sigma_1' > \sigma_c' \Rightarrow S_c = \frac{C_\alpha H}{1+e_0} \log \frac{\sigma_c'}{\sigma_0'} + \frac{C_c H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma_1'}{\sigma_c'}\right)$$

$$S_c = \sum_{i=1}^{n} S_{ci}$$

برای لایه‌ها

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

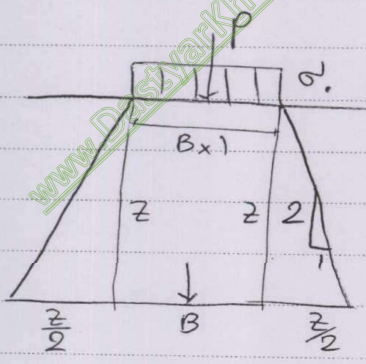
Subject
Date 60

PqPCO

www.DastyarKhoob.ir

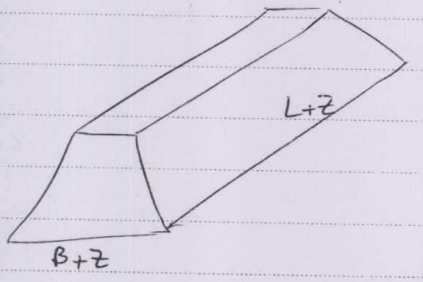
Subject
Date

روش 2 به 1 برای تعیین تنش در عمق خاک:



$P_1 = P_2 \rightarrow \sigma'_0 (B \times 1) = \sigma'_z (B+z)$

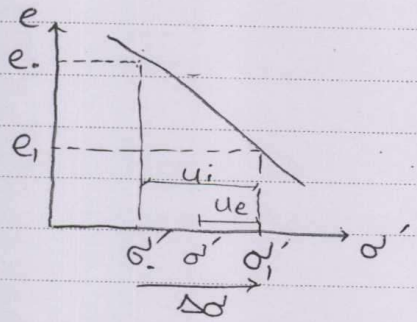
$\rightarrow \sigma'_z = \dfrac{\sigma'_0 (B \times 1)}{B+z}$



$\sigma'_z = \dfrac{\sigma'_0 (B \times L)}{(B+z)(L+z)}$

درجه تحکیم:

$0 \le U_z = \dfrac{e_0 - e}{e_0 - e_1} \le 1$ → تحکیم صد درصد



$U_z = \dfrac{\sigma - \sigma_0}{\sigma'_1 - \sigma'_0}$

@ $t=0 \rightarrow \sigma' = \sigma'_0 \rightarrow u_w = u_0 + \Delta\sigma \rightarrow u_w - u_0 = u_i = \Delta\sigma$

$t = t_1 \rightarrow \sigma' > \sigma'_0 \rightarrow u_e = \Delta u_\sigma < u_i$

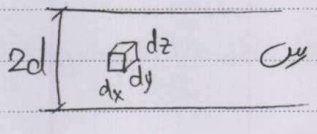
PqPCQ

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

$$U_z = \frac{\sigma - \sigma_0}{\sigma_1 - \sigma_0} = \frac{(\sigma_1 - u_e) - (\sigma_1 - u_i)}{u_i} = \frac{u_i - u_e}{u_i} = 1 - \frac{u_e}{u_i}$$

$$\boxed{u_i = \Delta\sigma}$$

روش تحلیلی یک بعدی تراکم: برای تعیین تغییرات فشار آب حفره‌ای در عمق خاک در زمان‌های مختلف در طی پروسه تحکیم



۱- خاک همگن است.
۲- خاک اشباع است.
۳- ذرات آب و خاک غیرقابل تراکم هستند.
۴- کرنش‌های کوچک است.
۵- قانون دارسی برای جریان برقرار است.
۶- جریان و تغییر حجم تنها در یک جهت صورت می‌گیرد.
۷- k و m_v در طول تست ثابت فرض می‌شوند. (در صورتی که با تراکم وارد شده می‌توان کرد)
۸- رابطه مستقل از زمان بین e و σ' برقرار است.

$$v_z = -k i_z = -k \frac{\partial h}{\partial z} = -\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial u}{\partial z}$$ فقط هیدرولیک تغییر می‌کند

$$\left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z}\right) dx\,dy\,dz = \frac{dV}{dt} \overset{(I)}{=} m_v \frac{d\sigma'}{dt} dx\,dy\,dz$$

$$\begin{cases} \dfrac{\partial v_z}{\partial z} dx\,dy\,dz = \dfrac{dV}{dt} & dV = \varepsilon_v\, dx\,dy\,dz \\ m_v = \dfrac{\varepsilon_v}{d\sigma'} \longrightarrow dV = m_v\, d\sigma'\, dx\,dy\,dz \ (I) \end{cases}$$

$$\frac{dv_z}{dz} = m_v \frac{d\sigma'}{dt} \rightarrow -\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = -m_v \frac{\partial u}{\partial t} \rightarrow \frac{\partial u_e}{\partial t} = \underbrace{\frac{k}{m_v \gamma_w}}_{C_v} \cdot \frac{\partial^2 u_e}{\partial z^2}$$

PqPCO

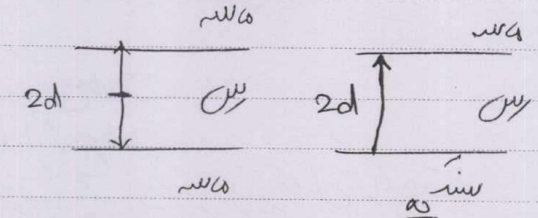
www.DastyarKhoob.ir

$$\rightarrow \frac{\partial u_e}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u_e}{\partial^2 z} \rightarrow u_{e\circ}(z,t)$$

بارگذاری لحظه‌ای می‌شود $\rightarrow$ @ $t=\circ \rightarrow u_e = u_i = \Delta\sigma \quad \circ \le z \le 2d$

@ $t>\circ \rightarrow u_e = \circ \rightarrow \begin{cases} z=\circ \\ z=2d \end{cases}$

$$\rightarrow u_e = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{d} \int_{\circ}^{2d} u_i \sin\frac{n\pi z}{2d}\, dz \right) \left(\sin\frac{n\pi z}{2d} \right) \exp\left(\frac{-n^2\pi^2 C_v t}{4d^2} \right)$$



u_i = عمق Constant فرض $\rightarrow$

$$u_e = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2u_i}{n\pi} (1-\cos n\pi) \left(\sin\frac{n\pi z}{2d} \right) \exp\left(\frac{-n^2\pi^2 C_v t}{4d^2} \right)$$

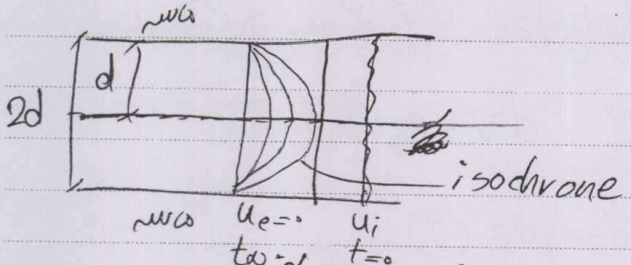
زوج بشود $n \rightarrow 1-\cos n\pi = \circ$

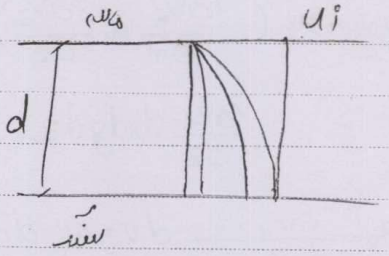
فرد بشود $n \rightarrow 1-\cos n\pi = 2$

$\rightarrow \begin{cases} n = 2m+1 \\ M = \frac{\pi}{2}(2m+1) = \frac{n\pi}{2} \end{cases}$

فاکتور زمان: $T_v = \frac{C_v t}{d^2}$

$$u_e = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2u_i}{M} \left(\sin\frac{Mz}{d} \right) \exp(-M^2 T_v)$$





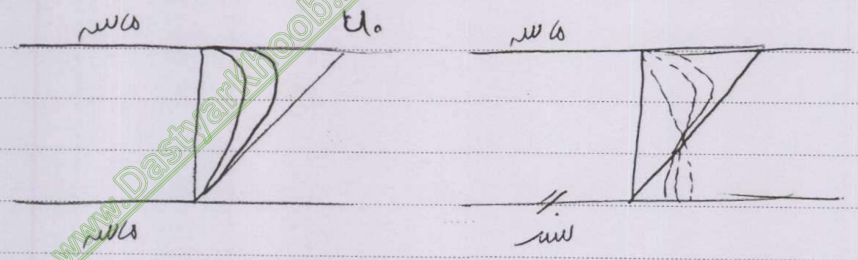
ضریب فشردگی a_v

تعیین C_v

P4PCO

www.DastyarKhoob.ir

Subject
Date



www.DastyarKhoob.ir

$$U_z = 1 - \frac{u_e}{u_i} = 1 - \sum \frac{2}{M} \left(\sin \frac{Mz}{d}\right) \exp(-M^2 T_v)$$

$$U_{avg} = 1 - \frac{\left(\frac{1}{2d}\right)\int_0^{2d} u_e\, dz}{u_i} = 1 - \sum \frac{2}{M^2} \exp(-M^2 T_v)$$

$$S_c = S_{tot} \times U_{avg}$$

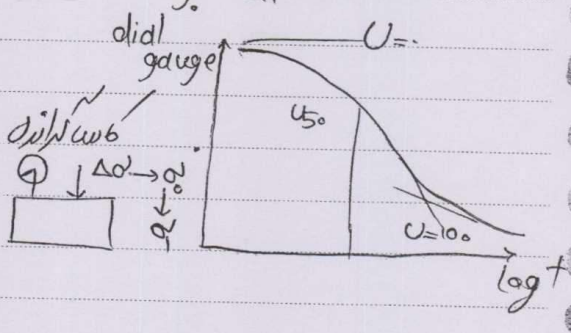
$$U_{avg} < 0.6 \longrightarrow T_v = \frac{\pi}{4} U^2$$

$$U_{avg} \geq 0.6 \longrightarrow T_v = -0.933 \log(1-U) - 0.085$$

$$u_i \text{ is not constant} \longrightarrow U_{avg} = 1 - \frac{\int_0^{2d} u_e\, dz}{\int_0^{2d} u_i\, dz}$$

C_v:

1. وسایل اندازه‌گیری فشار آب حفره
2. تغییر زمان ~ تغییر تنش



$$T_v = \frac{C_v t}{d^2}$$

$U \longrightarrow T_v$: $U = 50\% \longrightarrow T_v = 0.196$

www.DastyarKhoob.ir

Subject
Date 65

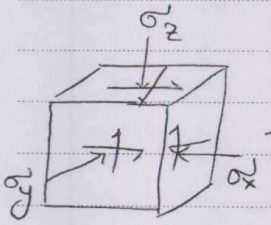
www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

Subject
Date

خصوصیات مقاومت خاک‌ها (فصل ۵)

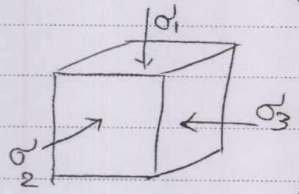
مقاومت برشی خاک:

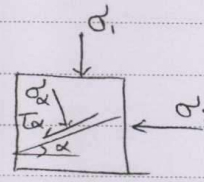
تنش بر روی اکثر خاک‌ها دایره موهر: تنش فشاری: مثبت
به های سانگرد: مثبت



major stress minor stress

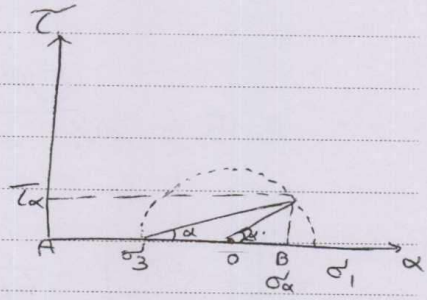
$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$



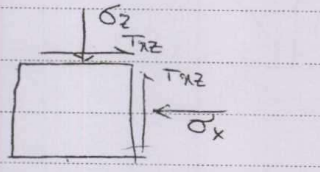


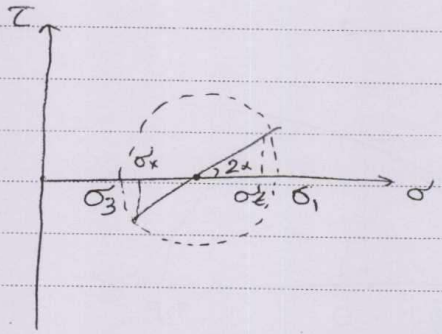
$$\begin{cases} \Sigma F_x = 0 \\ \Sigma F_y = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sigma_\alpha = \dfrac{\sigma_1+\sigma_3}{2} + \dfrac{\sigma_1-\sigma_3}{2}\cos 2\alpha \\ \tau_\alpha = \dfrac{\sigma_1-\sigma_3}{2}\sin 2\alpha \end{cases}$$



$$\begin{cases} O : \left[\dfrac{\sigma_1+\sigma_3}{2}, 0\right] \\ R = \dfrac{\sigma_1-\sigma_3}{2} \end{cases}$$





$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x-\sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2}$$

$$O : \left(\frac{\sigma_x+\sigma_z}{2}, 0\right)$$

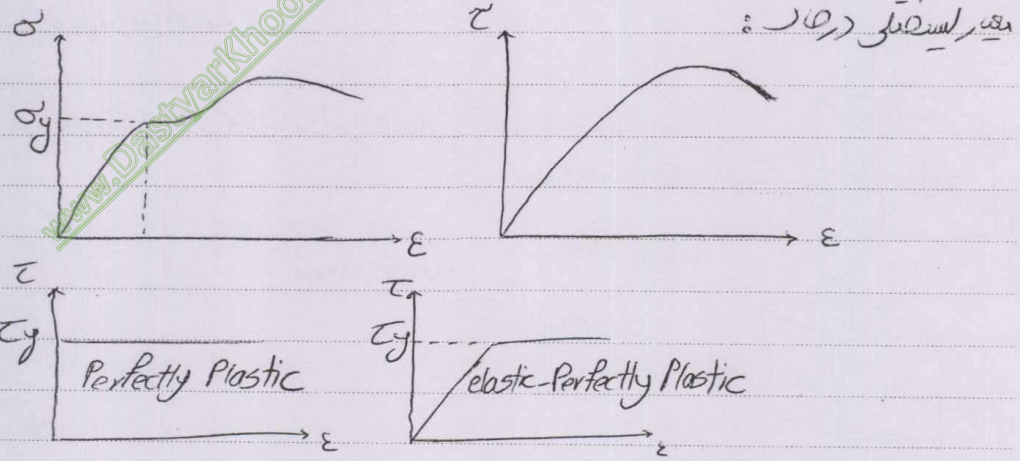
www.DastyarKhoob.ir

Subject

Date

www.DastyarKhoob.ir

معیار تسلیم در فلز:

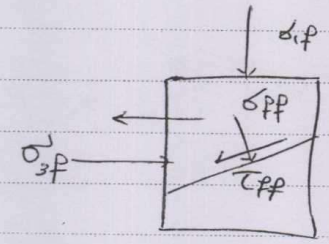


معیار تسلیم در خاک:

- تنش تسلیم
- تنش مربوط به کرنش مشخص

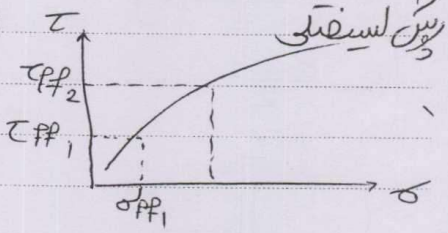
ε: 15 to 20%

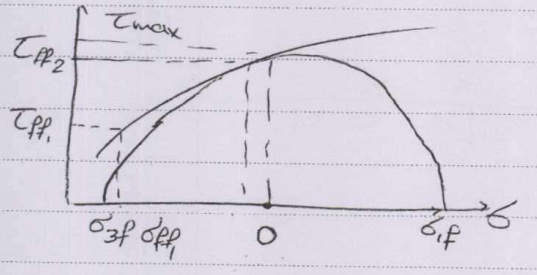
معیار تسلیم موهر-کولمب:



$\tau_{ff} = f(\sigma_{ff})$

پوش تسلیم





PAPCO

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

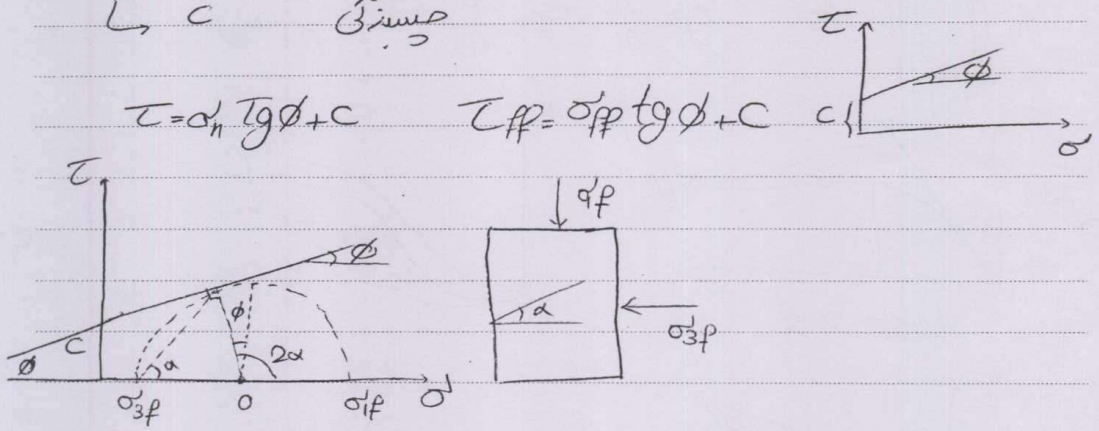
Subject
Date

مقاومت خاک:

- مولفه‌ای که وابسته به تنش اعمالی (σ_n) در سطح گسیختگی است. ← مولفه اصطکاکی
ϕ : friction angle

- مولفه‌ای که مستقل از تنش اعمالی است و به نوعی پارامتر وابسته لحاظ می‌شود.
↳ c چسبندگی

$\tau = \sigma_n \tan\phi + c$ $\quad \tau_{ff} = \sigma_{ff} \tan\phi + c$

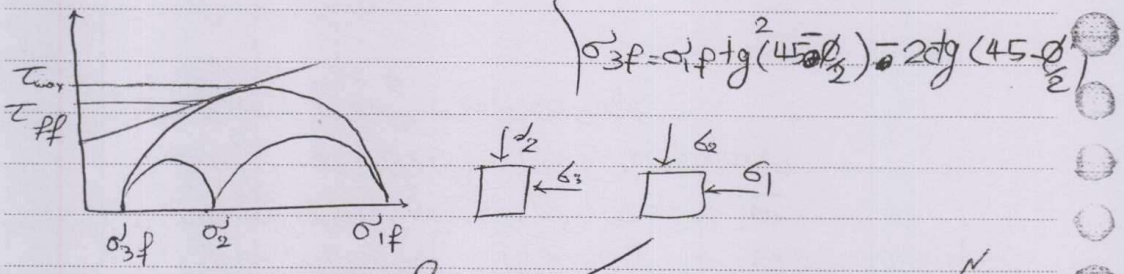


$2\alpha = 90 + \phi \rightarrow \alpha = 45 + \frac{\phi}{2}$

$$\sin\phi = \frac{OP}{OO'} = \frac{\frac{\sigma'_{1f} - \sigma'_{3f}}{2}}{\frac{\sigma'_{1f} + \sigma'_{3f}}{2} + c\cot\phi}$$

$$\sigma_{1f} = \sigma'_{3f} \tan^2(45 + \phi/2) + 2c\tan(45 + \phi/2)$$

$$\sigma_{3f} = \sigma_{1f} \tan^2(45 - \phi/2) - 2c\tan(45 - \phi/2)$$



اندازه‌گیری پارامترهای مقاومتی خاک (چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی) (c ، ϕ)

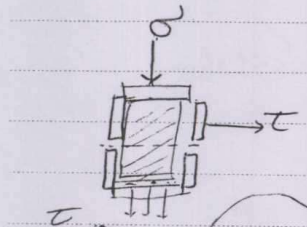
www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

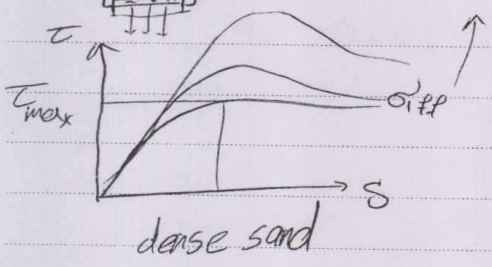
Subject
Date

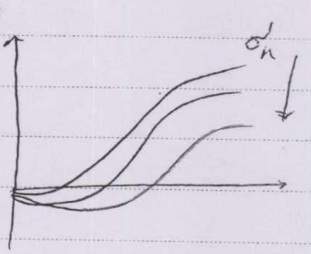
- آزمایش برش مستقیم: Direct Shear Test
- آزمایش سه محوری: Triaxial Test
- تک محوری Unconfined Compre. Test

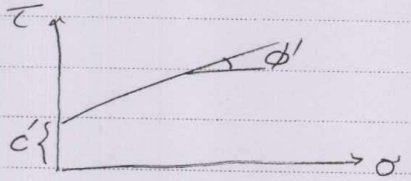
+ آزمایش برش مستقیم:

$\tau_f = \frac{T}{A}$ ، $\sigma_f = \frac{P}{A}$









- آزمایش سه محوری Triaxial Test: گسترده

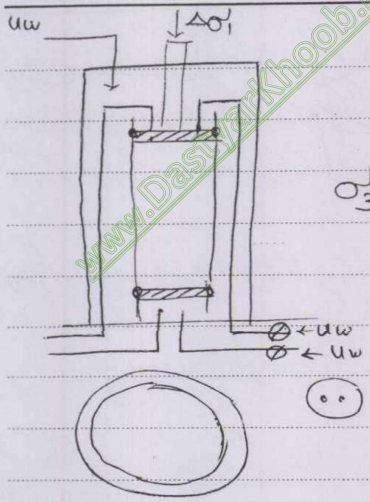
مزایا:

- امکان کنترل زهکشی در نمونه وجود دارد.
- چرخش محورهای اصلی اتفاق خواهد افتاد.
- گسیختگی در سطح ضعیف واقعی اتفاق می‌افتد.
- امکان اعمال شرایط بارگذاری مختلف بر روی نمونه وجود دارد.
- تا حد زیادی تمرکز تنش از بین رفته است.

P4PCO

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

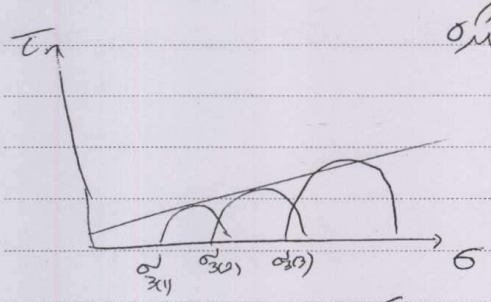
Subject
Date



روش انجام آزمایش:

- بارگذاری
- تعلیم تحکیم همه جانبه
- شیر آب ورودی و خروجی بصورت باز باشد ← تحکیم یافته Consolidated
- شرایط: شیر آب ورودی و خروجی بسته باشد ← تحکیم نیافته Unconsolidated
- بارگذاری برشی (اعمال $\Delta\sigma_d$)

- شیر آب باز شده — Drained — زهکشی شده
- بسته باشد — Undrained — زهکشی نشده



- CD → تحکیم یافته زهکشی شده
- UU → تحکیم نیافته زهکشی نشده
- CU → تحکیم یافته زهکشی نشده

معایب:
- مدت زمان طولانی برای انجام آزمایش مورد نیاز است.
- زهکشی تنش در جهت قائم اتفاق می افتد.
- در آزمایش سه محوری مقادیر $\frac{\sigma_3}{2}$ و σ_3 نیز در نظر گرفته می شود.

P4PCO

www.DastyarKhoob.ir

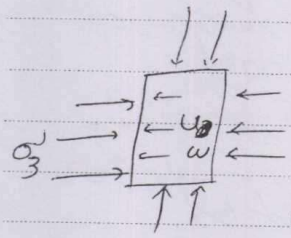
Subject
Date

- برای ماسه معمولاً آزمایش زهکشی شده استفاده می‌شود. (CD)
- برای رس هر سه آزمایش
- آزمایش سه محوری را بر روی نمونه‌های اشباع انجام می‌دهند.

روش انجام آزمایش:

Back-Pressure Saturation

اشباع‌سازی توسط



$\sigma'_3 = \sigma_3 - u_w$

	σ_3	u_w	σ'_3	$\Delta\sigma_3$	Δu_w
	50 kpa	0	50	Sitting load	
سیز زهکشی نشده	70	20	50		
	170	20	$-\Delta\sigma'_3 = 100$	30	

$B = \frac{\Delta u_w}{\Delta \sigma'_3} = 0.3$

	170	120	50		
سیز زهکشی شده	270	120	—	100	70 B=0.7

PqPCO

www.DastyarKhoob.ir